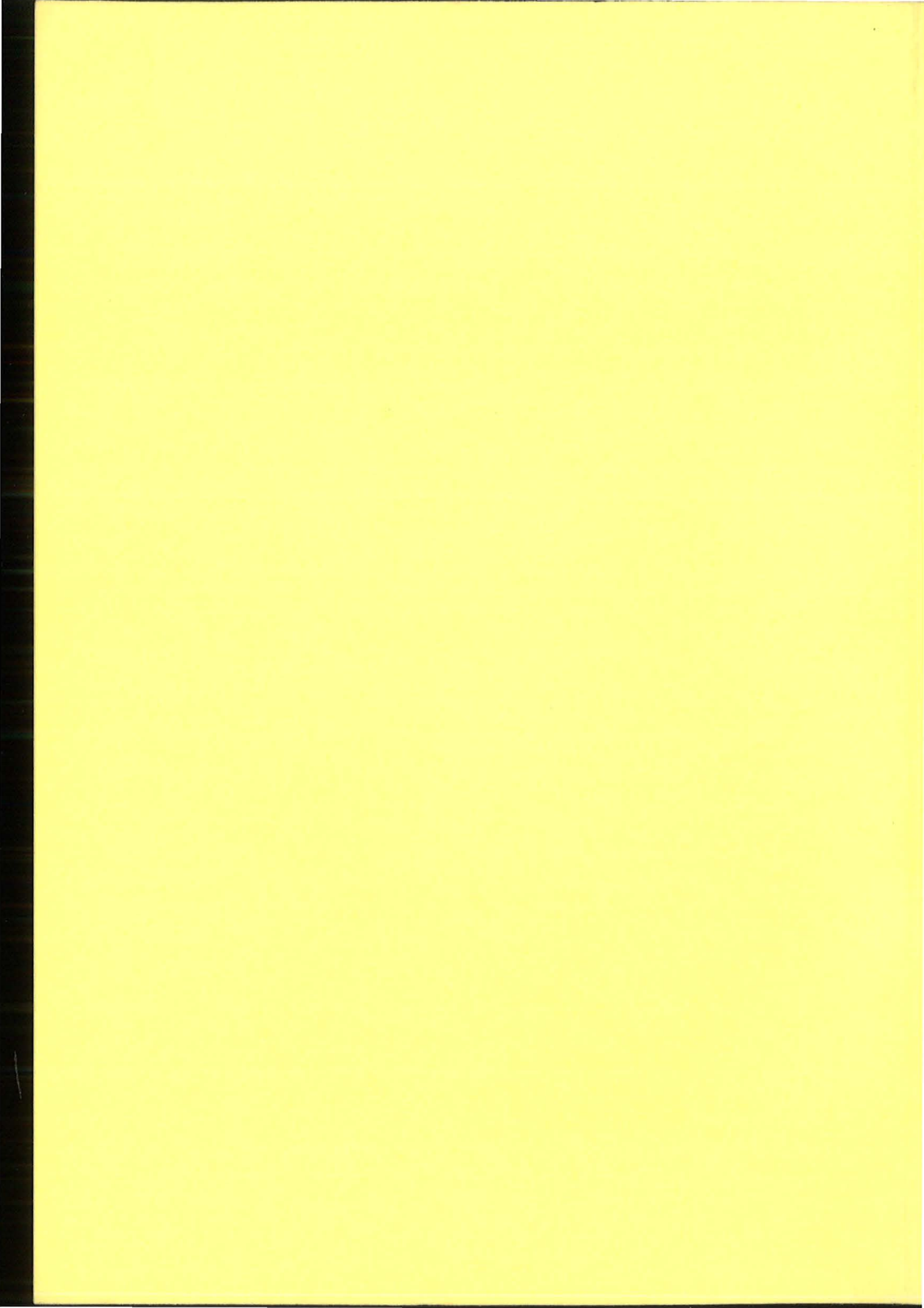


BRIGITTE FRANK

Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener and Julian Bigelow

Behavior, Purpose and Teleology

Reproduktion aus

Philosophy of Science

Vol. X 1943

BEIHEFT ZU BAND 8 DER

GRUNDLAGENSTUDIEN
AUS
KYBERNETIK
UND GEISTESWISSENSCHAFT

VERLAG SCHNELLE QUICKBORN

1967
Verlag Schnelle, Eberhard und Wolfgang Schnelle GmbH, Quickborn
Alle Rechte vorbehalten, auch die des auszugsweisen Abdrucks,
der Übersetzung und photomechanischen Wiedergabe.
Druck und Einband: Maurischat & Bevensee, Quickborn
Printed in Germany

Vorbemerkung

Wenn auch die Kybernetik trotz ihrer lebhaften, schon mehr als 25 Jahre dauernden, in sehr verschiedene Erfahrungsbereiche eingreifenden Entwicklung noch nicht zu einer befriedigenden Bestimmung ihres Begriffs gekommen ist - eine Unsicherheit, die auch in der Unsicherheit ihres Geschichtsbildes zum Ausdruck kommt - so zeichnet sich für einen künftigen Geschichtsschreiber der Kybernetik doch schon heute eine Reihe von Arbeiten ab, die notwendig in ihre Geschichte eingehen werden. Zu dieser Reihe gehört gewiß - nicht zuletzt wegen ihres die Namengebung der Kybernetik vollziehenden Titels - die heute sehr verbreitete amerikanische Erstausgabe des Buches von Norbert Wiener: "Cybernetics or control and communication in the animal and the machine" (1948). Die zweite, revidierte und ergänzte Auflage dieses Buches in deutscher Sprache: "Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine" ist 1963 erschienen.

Es wäre nun aber gewiß, ganz abgesehen von der sicher zu verneinenden Frage nach der amerikanischen Priorität des ersten Ansatzes der Kybernetik, unzutreffend, die amerikanische Kybernetik, wie es gegenwärtig oft geschieht, erst im Jahre 1948 mit dem Erscheinen des Wienerschen Buches "Cybernetics" beginnen zu lassen; denn in diesem Buch sagt Wiener auf Seite 19 - man vergleiche auch die deutsche Ausgabe 1963 Seite 39 f. -:

"We have decided to call the entire field of control and communication theory, whether in the machine or in the animal, by the name Cybernetics, which we form from the Greek κυβερνήτης or steersman. In choosing this term, we wish to recognize that the first significant paper on feed-back mechanisms, is an article on governors, which was published by Clerk Maxwell in 1868, Proc. Roy. Soc. (London) March 5, 1868, and that governor is derived from a Latin corruption of κυβερνήτης. We also wish to refer to the fact that the steering engines of a ship are indeed one of the earliest and best developed forms of feed-back mechanisms.

Although the term cybernetics does not date further back than the summer of 1947, we shall find it convenient to use in referring to earlier epochs of the development of the field. From 1942 or thereabouts, the development of the subject went ahead on in several fronts. First the ideas of the joint paper of Bigelow, Rosenblueth, and Wiener were disseminated by Dr. Rosenblueth at a meeting held in New York in 1942 under the auspices of the Josiah Macy foundation, and devoted to problems of central inhibition in the nervous system."

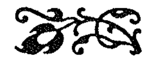
Hier wird also der Name der Kybernetik auch für die frühere amerikanische Entwicklung vor 1948, und zwar mit Recht, in Anspruch genommen unter besonderer Nennung der Arbeit von Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener und Julian Bigelow: Behavior, Purpose and Teleology, Philosophy of Science, vol 10, pp. 18-24, 1943.

Diese Arbeit ist nach unserer gegenwärtigen Kenntnis die erste Dokumentation der amerikanischen Kybernetik: als solche wird sie hier zusammen mit ihrer Übersetzung ins Deutsche als Beiheft des Jahrgangs VIII, 1967, der "Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft" abgedruckt.

Hermann Schmidt

Philosophy of Science

VOLUME X



BALTIMORE, MARYLAND

1943

BEHAVIOR, PURPOSE AND TELEOLOGY

ARTURO ROSENBLUETH, NORBERT WIENER AND JULIAN BIGELOW

This essay has two goals. The first is to define the behavioristic study of natural events and to classify behavior. The second is to stress the importance of the concept of purpose.

Given any object, relatively abstracted from its surroundings for study, the behavioristic approach consists in the examination of the output of the object and of the relations of this output to the input. By output is meant any change produced in the surroundings by the object. By input, conversely, is meant any event external to the object that modifies this object in any manner.

The above statement of what is meant by the behavioristic method of study omits the specific structure and the instrinsic organization of the object. This omission is fundamental because on it is based the distinction between the behavioristic and the alternative functional method of study. In a functional analysis, as opposed to a behavioristic approach, the main goal is the intrinsic organization of the entity studied, its structure and its properties; the relations between the object and the surroundings are relatively incidental.

From this definition of the behavioristic method a broad definition of behavior ensues. By behavior is meant any change of an entity with respect to its surroundings. This change may be largely an output from the object, the input being then minimal, remote or irrelevant; or else the change may be immediately traceable to a certain input. Accordingly, any modification of an object, detectable externally, may be denoted as behavior. The term would be, therefore, too extensive for usefulness were it not that it may be restricted by apposite adjectives—i.e., that behavior may be classified.

The consideration of the changes of energy involved in behavior affords a basis for classification. Active behavior is that in which the object is the source of the output energy involved in a given specific reaction. The object may store energy supplied by a remote or relatively immediate input, but the input does not energize the output directly. In passive behavior, on the contrary, the object is not a source of energy; all the energy in the output can be traced to the immediate input (e.g., the throwing of an object), or else the object may control energy which remains external to it throughout the reaction (e.g., the soaring flight of a bird).

Active behavior may be subdivided into two classes: purposeless (or random) and purposeful. The term purposeful is meant to denote that the act or behavior may be interpreted as directed to the attainment of a goal—i.e., to a final condition in which the behaving object reaches a definite correlation in time or in space with respect to another object or event. Purposeless behavior then is that which is not interpreted as directed to a goal.

The vagueness of the words "may be interpreted" as used above might be considered so great that the distinction would be useless. Yet the recognition that behavior may sometimes be purposeful is unavoidable and useful, as follows.

VERHALTEN, ZWECK UND TELEOLOGIE

Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener und Julian Bigelow
Philosophy of Science Bd. 10 1943, S. 18-24

Dieser Aufsatz hat zwei Ziele. Das erste ist eine Definition der behavioristischen Betrachtung von Naturereignissen und eine Einteilung der Verhaltensweisen. Das zweite ist, die Wichtigkeit des Zweckbegriffs zu unterstreichen.

Bei einem beliebig gegebenen Objekt, von dessen Umgebung man zu Studienzwecken weitgehend absieht, besteht das behavioristische Herangehen in der Untersuchung der Ausgangsgröße zur Eingangsgröße. Unter Ausgangsgröße ist irgendeine Änderung, die durch das Objekt in seiner Umgebung hervorgerufen wurde, zu verstehen. Dagegen verstehen wir unter Eingangsgröße irgendein äußeres Ereignis, das auf das Objekt wirkt und es in irgendeiner Weise beeinflußt.

Die oben gegebene Darstellung der behavioristischen Betrachtungsweise sieht ab von der speziellen Struktur und der internen Organisation des Objekts. Diese Vernachlässigung ist grundlegend, da auf ihr der Unterschied zwischen der behavioristischen und der zu ihr gegensätzlichen funktionellen Betrachtungsweise beruht. Bei einer funktionellen Analyse ist im Gegensatz zum behavioristischen Herangehen die interne Organisation des betrachteten Objekts, seine Struktur und seine Eigenschaften das Hauptziel. Die Beziehungen zwischen dem Objekt und seiner Umgebung sind verhältnismäßig nebensächlich.

Aus dieser Definition der behavioristischen Methode folgt eine klare Definition des Verhaltens. Unter Verhalten versteht man irgendeine Änderung eines Objekts hinsichtlich seiner Umgebung. Ist die Eingangsgröße vernachlässigbar klein, (zeitlich) weit zurückliegend oder ohne Einfluß, so kann diese Änderung im wesentlichen eine Ausgangswirkung des Objekts sein; diese Änderung kann aber auch unmittelbar auf einen bestimmten Eingangswert zurückzuführen sein. Damit kann irgendeine Veränderung eines Objekts, die von außen zu beobachten ist, als Verhalten bezeichnet werden. Dieser Begriff wäre aber in bezug auf seine Anwendbarkeit zu weit gefaßt, könnte er nicht durch beigefügte Adjektive eingeschränkt werden, d.h. wäre das Verhalten nicht klassifizierbar.

Eine Grundlage für eine solche Einteilung liefert die Betrachtung der während der Verhaltensvorgänge auftretenden Energieänderungen. Bei aktivem Verhalten ist das Objekt selbst die Quelle der für die spezielle Reaktion erforderliche Energie. Das Objekt kann Energie, die von einer (zeitlich) zurückliegenden oder verhältnismäßig naheliegenden Eingangsgröße stammt, speichern; der Input liefert jedoch nicht direkt die Ausgabe-Energie. Im Gegensatz dazu ist bei passivem Verhalten das Objekt keine Energiequelle; die gesamte Ausgabeenergie kann unmittelbar auf eine augenblickliche Eingangsgröße zurückgeführt werden (z.B. das Werfen eines Objekts), oder aber das Objekt steuert Energieprozesse, die während der Reaktion (bezüglich des Objekts) äußere Energievorgänge bleiben (z.B. Schwebeflug eines Vogels).

Aktives Verhalten kann in zwei Klassen unterteilt werden: zweckloses (oder zufälliges) und zweckgerichtetes Verhalten. Der Ausdruck zweckgerichtet wird benutzt um anzudeuten, daß die Handlung oder das Verhalten als "auf das Erreichen eines Ziels gerichtet" gedeutet werden kann, d.h. auf einen Endzustand, in dem das (sich verhaltende) Objekt eine bestimmte zeitliche oder örtliche Beziehung hinsichtlich eines anderen Objekts oder Ereignisses eingeht. Zweckloses Verhalten ist dann jenes, das nicht als zielgerichtet gedeutet wird.

Man könnte der Auffassung sein, daß die durch den Ausdruck "kann gedeutet werden" ausgedrückte Unsicherheit so groß ist, daß die Unterscheidung unbrauchbar ist.
Die Einsicht, eine Verhaltensweise sei manchmal zweckvoll, ist jedoch unvermeidlich und nützlich, wie aus folgendem hervorgeht:

The basis of the concept of purpose is the awareness of "voluntary activity." Now, the purpose of voluntary acts is not a matter of arbitrary interpretation but a physiological fact. When we perform a voluntary action what we select voluntarily is a specific purpose, not a specific movement. Thus, if we decide to take a glass containing water and carry it to our mouth we do not command certain muscles to contract to a certain degree and in a certain sequence; we merely trip the purpose and the reaction follows automatically. Indeed, experimental physiology has so far been largely incapable of explaining the mechanism of voluntary activity. We submit that this failure is due to the fact that when an experimenter stimulates the motor regions of the cerebral cortex he does not duplicate a voluntary reaction; he trips efferent, "output" pathways, but does not trip a purpose, as is done voluntarily.

The view has often been expressed that all machines are purposeful. This view is untenable. First may be mentioned mechanical devices such as a roulette, designed precisely for purposelessness. Then may be considered devices such as a clock, designed, it is true, with a purpose, but having a performance which, although orderly, is not purposeful—i.e., there is no specific final condition toward which the movement of the clock strives. Similarly, although a gun may be used for a definite purpose, the attainment of a goal is not intrinsic to the performance of the gun; random shooting can be made, deliberately purposeless.

Some machines, on the other hand, are intrinsically purposeful. A torpedo with a target-seeking mechanism is an example. The term servomechanisms has been coined precisely to designate machines with intrinsic purposeful behavior.

It is apparent from these considerations that although the definition of purposeful behavior is relatively vague, and hence operationally largely meaningless, the concept of purpose is useful and should, therefore, be retained.

Purposeful active behavior may be subdivided into two classes: "feed-back" (or "teleological") and "non-feed-back" (or "non-teleological"). The expression feed-back is used by engineers in two different senses. In a broad sense it may denote that some of the output energy of an apparatus or machine is returned as input; an example is an electrical amplifier with feed-back. The feed-back is in these cases positive—the fraction of the output which reenters the object has the same sign as the original input signal. Positive feed-back adds to the input signals, it does not correct them. The term feed-back is also employed in a more restricted sense to signify that the behavior of an object is controlled by the margin of error at which the object stands at a given time with reference to a relatively specific goal. The feed-back is then negative, that is, the signals from the goal are used to restrict outputs which would otherwise go beyond the goal. It is this second meaning of the term feed-back that is used here.

All purposeful behavior may be considered to require negative feed-back. If a goal is to be attained, some signals from the goal are necessary at some time to direct the behavior. By non-feed-back behavior is meant that in which there are no signals from the goal which modify the activity of the object *in the*

Eine Grundlage des Zweckbegriffs ist die Kenntnis von "willkürlicher Aktivität". Der Zweck bewußter Handlungen ist kein Gegenstand willkürlicher Interpretation, sondern eine physiologische Tatsache. Wenn wir eine bewußte Handlung ausführen, so ist das von uns Gewählte ein spezieller Zweck, nicht eine spezielle Aktivität. Wenn wir z.B. ein Glas Wasser greifen und dies an unseren Mund führen wollen, dann ordnen wir nicht bestimmte Muskelzusammenziehungen um einen bestimmten Grad und in einer bestimmten Folge an; wir fassen nur den Zweck ins Auge; die Reaktion erfolgt automatisch. Tatsächlich hat sich die experimentelle Physiologie bis heute als weitgehend unfähig erwiesen, den Mechanismus solcher bewußter Handlungen zu erklären. Wir geben zu, daß dieser Mißerfolg der Tatsache zuzuschreiben ist, daß ein Experimentator durch Anregung der motorischen Regionen der Cerebralcortex keine bewußte Reaktion nachbildet; er faßt efferente "output"-Wege ins Auge, aber nicht einen Zweck, wie es bei einer bewußten Handlung der Fall wäre.

Oft wurde die Ansicht vertreten, daß alle Maschinen zweckgerichtet wären. Diese Ansicht ist unhaltbar. Als erstes könnte man da mechanische Anordnungen wie z.B. ein Roulette erwähnen, das gerade für "Zweckfreiheit" entworfen worden ist. Dann könnte man an Apparate wie eine Uhr denken, die wahrlich zu einem Zweck erdacht wurde, die jedoch im Betriebszustand - obwohl genau gehend - nicht zweckgerichtet ist, d.h. es existiert kein spezifischer Endzustand, gegen den die Bewegung der Uhr strebt. Genauso ist es mit einem Gewehr, das zu einem ganz bestimmten Zweck benutzt werden kann, für dessen Betrieb jedoch das Erreichen eines Zieles nicht wesentlich ist. Man kann auch Streufeuer schießen, das vorsätzlich auf keinen bestimmten Zweck gerichtet ist.

Andererseits sind einige Maschinen tatsächlich zweckgerichtet. Ein Torpedo mit Zielsucheinrichtung ist ein Beispiel dafür. Der Ausdruck Servo-Mechanismus ist geprägt worden, um solche Maschinen mit im wesentlichen zweckgerichtetem Verhalten zu kennzeichnen.

Aus diesen Betrachtungen folgt, daß der Zweckbegriff, obwohl die Definition zweckgerichteten Verhaltens relativ vage und damit praktisch weitgehend bedeutungslos ist, brauchbar ist und deswegen beibehalten werden soll.

Aktives zweckgerichtetes Verhalten kann in zwei Klassen unterteilt werden: in "rückgekoppeltes" (oder "teleologisches") und "nicht rückgekoppeltes" (oder "nicht teleologisches") Verhalten. Der Ausdruck Rückkoppelung wird von Technikern in zwei verschiedenen Bedeutungen benutzt. Im weiteren Sinn ist gemeint, daß ein Teil der Ausgangsenergie eines Apparates oder einer Maschine als Eingangsgröße zurückgeführt wird. Ein Beispiel dafür ist ein elektrischer Verstärker mit Rückkoppelung. Die Rückkoppelung ist in diesen Fällen positiv und der Bruchteil der Ausgangsgröße, der zum Eingang des Objekts rückgeführt wird, hat das gleiche Vorzeichen wie das ursprüngliche Eingangssignal. Positive Rückkopplung verstärkt die Eingangssignale, sie verändert (verbessert) sie nicht. Die Bezeichnung Rückkopplung wird auch in einem eingeschränkteren Sinne benutzt, um damit zu erkennen zu geben, daß das Verhalten eines Objekts durch die Fehlerabweichung, die das Objekt zu einem gegebenen Zeitpunkt bezüglich eines speziellen Zieles besitzt, gesteuert wird. Die Rückkopplung ist dann negativ, d.h. die Signale der Sollgröße werden benutzt, um Ausgangssgrößen beschränkt zu halten, die andernfalls über den Sollwert hinausgehen würden. Die zweite Bedeutung dieses Begriffs wird hier angewandt.

Man kann es so ausdrücken, daß zu zweckgerichtetem Verhalten eine Gegenkopplung auftreten muß. Wenn ein Ziel erreicht werden soll, so werden von Zeit zu Zeit Signale von diesem zur Steuerung des Verhaltens benötigt. Unter nichtrückgekoppeltem Verhalten versteht man ein solches, bei dem keine Signale vom Ziel her (Endzustand) kommen, die zur Veränderung der Aktivität des Objekts im Verlauf des Verhaltens dienen könnten. So könnte eine Maschine dazu ver-

course of the behavior. Thus, a machine may be set to impinge upon a luminous object although the machine may be insensitive to light. Similarly, a snake may strike at a frog, or a frog at a fly, with no visual or other report from the prey after the movement has started. Indeed, the movement is in these cases so fast that it is not likely that nerve impulses would have time to arise at the retina, travel to the central nervous system and set up further impulses which would reach the muscles in time to modify the movement effectively.

As opposed to the examples considered, the behavior of some machines and some reactions of living organisms involve a continuous feed-back from the goal that modifies and guides the behaving object. This type of behavior is more effective than that mentioned above, particularly when the goal is not stationary. But continuous feed-back control may lead to very clumsy behavior if the feed-back is inadequately damped and becomes therefore positive instead of negative for certain frequencies of oscillation. Suppose, for example, that a machine is designed with the purpose of impinging upon a moving luminous goal; the path followed by the machine is controlled by the direction and intensity of the light from the goal. Suppose further that the machine overshoots seriously when it follows a movement of the goal in a certain direction; an even stronger stimulus will then be delivered which will turn the machine in the opposite direction. If that movement again overshoots a series of increasingly larger oscillations will ensue and the machine will miss the goal.

This picture of the consequences of undamped feed-back is strikingly similar to that seen during the performance of a voluntary act by a cerebellar patient. At rest the subject exhibits no obvious motor disturbance. If he is asked to carry a glass of water from a table to his mouth, however, the hand carrying the glass will execute a series of oscillatory motions of increasing amplitude as the glass approaches his mouth, so that the water will spill and the purpose will not be fulfilled. This test is typical of the disorderly motor performance of patients with cerebellar disease. The analogy with the behavior of a machine with undamped feed-back is so vivid that we venture to suggest that the main function of the cerebellum is the control of the feed-back nervous mechanisms involved in purposeful motor activity.

Feed-back purposeful behavior may again be subdivided. It may be extrapolative (predictive), or it may be non-extrapolative (non-predictive). The reactions of unicellular organisms known as tropisms are examples of non-predictive performances. The amoeba merely follows the source to which it reacts; there is no evidence that it extrapolates the path of a moving source. Predictive animal behavior, on the other hand, is a commonplace. A cat starting to pursue a running mouse does not run directly toward the region where the mouse is at any given time, but moves toward an extrapolated future position. Examples of both predictive and non-predictive servomechanisms may also be found readily.

Predictive behavior may be subdivided into different orders. The cat chasing the mouse is an instance of first-order prediction; the cat merely predicts the path of the mouse. Throwing a stone at a moving target requires a second-order prediction; the paths of the target and of the stone should be foreseen.

wandt werden, auf ein erleuchtetes Objekt zu treffen, obgleich die Maschine für Licht unempfindlich ist. Ähnlich ist es, wenn eine Schlange nach einem Frosch schnappt oder ein Frosch nach einer Fliege, und sie keine visuellen oder anderen Rückmeldungen von der Beute haben, nachdem die Bewegung eingeleitet ist. Tatsächlich ist in diesen Fällen die Bewegung so schnell, daß es unwahrscheinlich ist, daß in der kurzen Zeit Nervenimpulse auf der Netzhaut entstehen, zum Zentral-Nervensystem wandern und andere Impulse auslösen, die rechtzeitig die Muskeln erreichen, um die Bewegung sinnvoll zu beeinflussen.

Im Gegensatz zu den eben betrachteten Beispielen gibt es beim Betrieb gewisser Maschinen und bei einigen Reaktionen lebender Organismen dauernd Rückmeldungen vom Sollzustand, wodurch das Verhalten des Objekts gesteuert und sein Verhalten verändert wird. Diese Art von Verhalten ist wirkungsvoller als die oben erwähnte, besonders wenn der Sollwert nicht stationär ist. Eine kontinuierliche Regelung kann aber auch zu einem sehr ungeschickten Verhalten führen, wenn die Dämpfung des Systems falsch bemessen ist und dadurch in einem bestimmten Schwingungs-Frequenzbereich positive anstelle von negativer Rückkopplung auftritt. Wir wollen z. B. annehmen, daß eine Maschine zu dem Zweck konstruiert wurde, ein bewegtes erleuchtetes Ziel zu treffen; der von der Maschine verfolgte Weg wird durch Richtung und Intensität der Ziellichtquelle gesteuert. Nehmen wir ferner an, daß die Maschine, wenn sie in einer bestimmten Richtung der Bewegung des Ziels folgt, weit über das Ziel hinausschießt; dann erhält die Maschine einen noch stärkeren Reiz, der eine Bewegung in die entgegengesetzte Richtung bewirken soll. Schießt diese Bewegung wieder über das Ziel hinaus, so ergibt sich eine Folge von ständig anwachsenden Schwingungen und die Maschine verfehlt das Ziel.

Dieses Bild von den Folgen ungedämpfter Rückkopplung ist demjenigen erstaunlich ähnlich, das man sieht, wenn ein Cerebellar-Patient eine bewußte Handlung ausführt. Im Ruhezustand zeigt die Versuchsperson keine auffallenden motorischen Störungen. Wird sie jedoch gebeten, ein Glas Wasser vom Tisch zum Mund zu führen, so führt die das Glas haltende Hand eine Reihe von Schwingungsbewegungen aus, deren Amplitude mit der Annäherung des Glases an den Mund anwächst, so daß das Wasser verschüttet und der Zweck nicht erreicht wird. Dieser Versuchsverlauf ist typisch für die krankhaften mototischen Leistungen von Patienten mit Kleinhirnschäden.
Die Analogie zum Verhalten einer Maschine mit ungedämpfter Rückkopplung ist so auffällig, daß wir es wagen anzunehmen, die Hauptfunktion des Kleinhirns sei die Kontrolle des nervösen Rückkopplungsmechanismus, der bei zweckgerichteter motorischer Aktivität angesprochen wird.

Zweckgerichtetes Rückkopplungsverhalten kann weiter unterteilt werden. Es kann extrapolativ (vorhersagend) oder nicht-extrapolativ (nicht-vorhersagend) sein. Die Reaktionen einzelliger Organismen, die als Tropismen bekannt sind, sind Beispiele für nicht-extrapolatives Tun. Die Amöbe folgt nur der Quelle, auf die sie reagiert; es hat nicht den Anschein, daß sie den Weg einer bewegten Quelle extrapoliert.
Extrapolatives tierisches Verhalten ist auf der anderen Seite etwas sehr Bekanntes: Eine Katze, die die Verfolgung einer laufenden Maus beginnt, läuft nicht direkt auf den Ort zu, an dem sich die Maus zu diesem Zeitpunkt befindet, sondern zielt auf einen extrapolierten, zukünftigen Ort. Beispiele für extrapolative wie auch für nicht-extrapolative Servo-Mechanismen sind leicht zu finden.

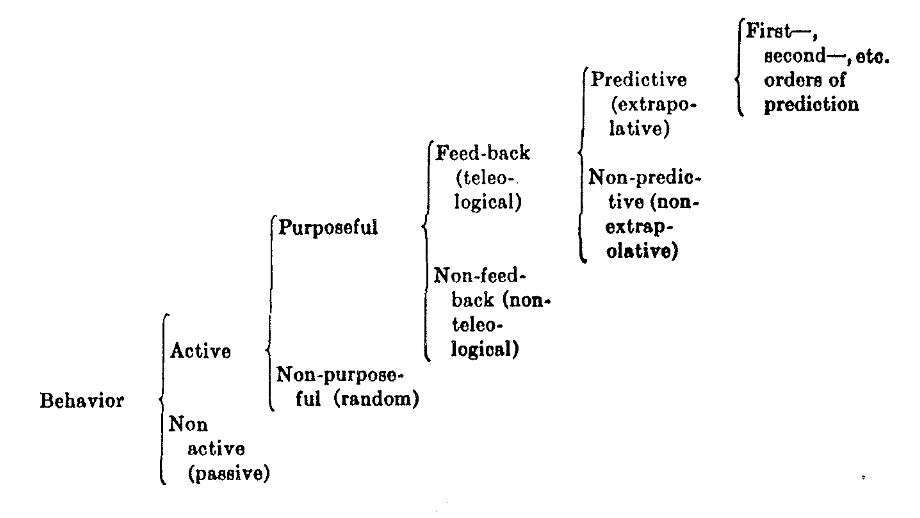
Vorhersagendes Verhalten kann in verschiedene Ordnungen unterteilt werden. Die Katze, die eine Maus jagt, ist ein Beispiel für eine Vorhersage erster Ordnung. Die Katze extrapoliert nur den Weg der Maus. Um einen Stein auf ein bewegtes Ziel zu werfen, wird eine Vorhersage zweiter Ordnung benötigt. Die Wege des Ziels und des Steins müssen vorausgesehen (extrapoliert) werden.

Examples of predictions of higher order are shooting with a sling or with a bow and arrow.

Predictive behavior requires the discrimination of at least two coordinates, a temporal and at least one spatial axis. Prediction will be more effective and flexible, however, if the behaving object can respond to changes in more than one spatial coordinate. The sensory receptors of an organism, or the corresponding elements of a machine, may therefore limit the predictive behavior. Thus, a bloodhound *follows* a trail, that is, it does not show any predictive behavior in trailing, because a chemical, olfactory input reports only spatial information: distance, as indicated by intensity. The external changes capable of affecting auditory, or, even better, visual receptors, permit more accurate spatial localization; hence the possibility of more effective predictive reactions when the input affects those receptors.

In addition to the limitations imposed by the receptors upon the ability to perform extrapolative actions, limitations may also occur that are due to the internal organization of the behaving object. Thus, a machine which is to trail predictively a moving luminous object should not only be sensitive to light (e.g., by the possession of a photoelectric cell), but should also have the structure adequate for interpreting the luminous input. It is probable that limitations of internal organization, particularly of the organization of the central nervous system, determine the complexity of predictive behavior which a mammal may attain. Thus, it is likely that the nervous system of a rat or dog is such that it does not permit the integration of input and output necessary for the performance of a predictive reaction of the third or fourth order. Indeed, it is possible that one of the features of the discontinuity of behavior observable when comparing humans with other high mammals may lie in that the other mammals are limited to predictive behavior of a low order, whereas man may be capable potentially of quite high orders of prediction.

The classification of behavior suggested so far is tabulated here:

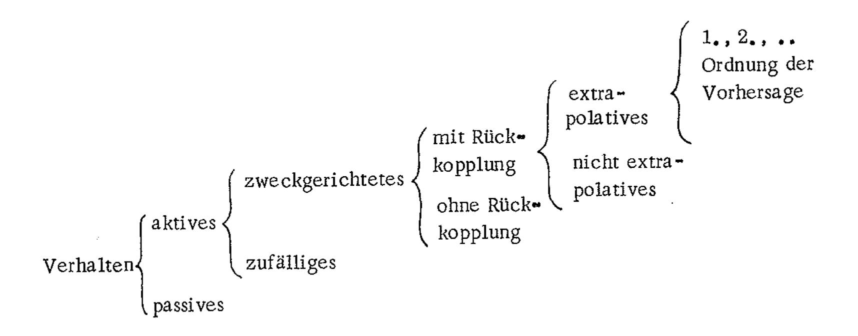


Beispiele für Extrapolationen höherer Ordnung sind das Schießen mit einer Schleuder oder mit Pfeil und Bogen.

Vorhersagendes Verhalten erfordert die Unterscheidung von mindestens zwei Koordinaten, einer zeitlichen und (wenigstens) einer räumlichen Achse. Die Vorhersage ist jedoch flexibler und wirkungsvoller, wenn das sich verhaltende Objekt auf Änderungen in mehr als einer räumlichen Koordinate reagieren kann. Die sensorischen Rezeptoren eines Organismus oder die entsprechenden Bauteile einer Maschine sind daher für eine Begrenzung des extrapolativen Verhaltens verantwortlich. So folgt ein Schweißhund z.B. einer Fährte, d.h. er zeigt kein irgendwie geartetes vorhersagendes Verhalten beim Spurensuchen, da die chemische, auf den Geruchssinn wirkende Eingangsgröße nur räumliche Information liefert: Information über die (räumliche) Entfernung, die durch die Intensität des Geruchs angezeigt wird. Diejenigen äußeren Änderungen, die auf das Gehör oder noch besser auf den Gesichtssinn einwirken können, gestatten eine genauere räumliche Lokalisierung; somit ist die Möglichkeit wirkungsvoller extrapolativer Reaktionen gegeben, wenn die Eingangsgröße jene Rezeptoren beeinflußt.

Zusätzlich zu den Grenzen der Fähigkeit, extrapolative Handlungen auszuführen, die ihr durch die Rezeptoren auferlegt werden, gibt es Schranken, die auf die interne Organisation des sich verhaltenden Objekts zurückzuführen sind. So sollte eine Maschine, die ein bewegtes leuchtendes Objekt extrapolierend zu verfolgen hat, nicht nur für Licht empfindlich sind (z.B. durch den Besitz einer Fotozelle), sondern sollten auch eine Struktur aufweisen, die eine Interpretation des leuchtenden Signals erlaubt. Es ist wahrscheinlich, daß Schranken, die durch die interne Organisation, besonders durch diejenige des Zentralnervensystems, auferlegt werden, die Komplexität des extrapolativen Verhaltens bestimmen, die ein Säugetier erreichen kann. Es scheint so, als ob das Nervensystem einer Ratte oder eines Hundes eine Integration der Eingangs- und der Ausgangsgröße, die für die Ausführung einer extrapolativen Reaktion dritter oder vierter Ordnung notwendig ist, nicht gestattet. Tatsächlich ist es möglich, daß eines der Kennzeichen für das unterschiedliche Verhalten, das man beobachtet, wenn man Menschen mit anderen hochentwickelten Säugetieren vergleicht, darin besteht, daß die anderen Säugetiere auf extrapolatives Verhalten niederer Ordnung beschränkt sind, während der Mensch zu weit höheren Ordnungen der Vorhersage fähig ist.

Die dem Bisherigen entsprechende Einteilung des Verhaltens sei im folgenden wiedergegeben:



It is apparent that each of the dichotomies established singles out arbitrarily one feature, deemed interesting, leaving an amorphous remainder: the non-class. It is also apparent that the criteria for the several dichotomies are heterogeneous. It is obvious, therefore, that many other lines of classification are available, which are independent of that developed above. Thus, behavior in general, or any of the groups in the table, could be divided into linear (i.e., output proportional to input) and non-linear. A division into continuous and discontinuous might be useful for many purposes. The several degrees of freedom which behavior may exhibit could also be employed as a basis of systematization.

The classification tabulated above was adopted for several reasons. It leads to the singling out of the class of predictive behavior, a class particularly interesting since it suggests the possibility of systematizing increasingly more complex tests of the behavior of organisms. It emphasizes the concepts of purpose and of teleology, concepts which, although rather discredited at present, are shown to be important. Finally, it reveals that a uniform behavioristic analysis is applicable to both machines and living organisms, regardless of the complexity of the behavior.

It has sometimes been stated that the designers of machines merely attempt to duplicate the performances of living organisms. This statement is uncritical. That the gross behavior of some machines should be similar to the reactions of organisms is not surprising. Animal behavior includes many varieties of all the possible modes of behavior and the machines devised so far have far from exhausted all those possible modes. There is, therefore a considerable overlap of the two realms of behavior. Examples, however, are readily found of man-made machines with behavior that transcends human behavior. A machine with an electrical output is an instance; for men, unlike the electric fishes, are incapable of emitting electricity. Radio transmission is perhaps an even better instance, for no animal is known with the ability to generate short waves, even if so-called experiments on telepathy are considered seriously.

A further comparison of living organisms and machines leads to the following inferences. The methods of study for the two groups are at present similar. Whether they should always be the same may depend on whether or not there are one or more qualitatively distinct, unique characteristics present in one group and absent in the other. Such qualitative differences have not appeared so far.

The broad classes of behavior are the same in machines and in living organisms. Specific, narrow classes may be found exclusively in one or the other. Thus, no machine is available yet that can write a Sanscrit-Mandarin dictionary. Thus, also, no living organism is known that rolls on wheels—imagine what the result would have been if engineers had insisted on copying living organisms and had therefore put legs and feet in their locomotives, instead of wheels.

While the behavioristic analysis of machines and living organisms is largely uniform, their functional study reveals deep differences. Structurally, organisms are mainly colloidal, and include prominently protein molecules, large,

Offenbar greift jede der angegebenen Alternativen willkürlich eine Eigenschaft, die für wesentlich gehalten wird, heraus und läßt einen amorphen Rest zurück. Ebenso offensichtlich sind die Kriterien der verschiedenen Alternativen heterogen. Daher ist es klar, daß es noch viele andere von den oben entwickelten unabhängigen Klassifikationsregeln gibt. So könnte man Verhalten ganz allgemein (oder irgendein bestimmtes Verhalten der Tabelle) in lineares (Ausgangsgröße der Eingangsgröße proportional) und nicht-lineares unterteilen. Eine Unterscheidung von kontinuierlichem und diskontinuierlichem Verhalten kann für manche Zwecke nützlich sein. Ebenso könnten die verschiedenen Freiheitsgrade des Verhaltens als Grundlage einer Systematik benutzt werden.

Aus verschiedenen Gründen wurde die oben angegebene Einteilung gewählt. Sie stellt die Klasse vorhersehbaren Verhaltens heraus, die von besonderem Interesse ist, weil sie die Möglichkeit einer Systematisierung zunehmend komplexerer Untersuchungen über das Verhalten von Organismen bietet. Sie unterstreicht die Bedeutung der Begriffe Zweck und Teleologie - Begriffe, deren Wichtigkeit nachgewiesen wurde, obwohl sie heutzutage in einigen Mißkredit gefallen sind. Schließlich zeigt sie, daß eine einheitliche behavioristische Analyse sowohl auf Maschinen als auch auf lebende Organismen anwendbar ist, und zwar unabhängig von der Komplexität des Verhaltens.

Es wurde oft behauptet, daß die Konstrukteure von Maschinen nur eine Nachahmung der Funktionen lebender Organismen anstreben. Diese Behauptung ist zu oberflächlich. Es überrascht nicht, daß das Grob-Verhalten einiger Maschinen den Reaktionen von Organismen ähnelt. Tierisches Verhalten schließt viele Spielarten aller möglichen Verhaltenstypen ein; die bis heute entworfenen Maschinen sind weit davon entfernt, alle jene möglichen Verhaltenstypen ausgeschöpft zu haben. Daher besteht also eine beträchtliche Überlappung zwischen den beiden Verhaltensbereichen.
Es sind jedoch leicht auch Beispiele für von Menschenhand entworfene Maschinen zu finden, deren Verhaltensweise über die des Menschen hinausreicht. Eine Maschine mit einer elektrischen Ausgangsgröße ist ein Beispiel; Menschen sind - im Gegensatz zu den Elektrofischen - nicht in der Lage, Elektrizität abzugeben. Die Übertragung von Radiowellen ist ein vielleicht noch besseres Beispiel, denn es ist kein Tier bekannt, das die Fähigkeit zur Erzeugung von Kurzwellen besitzt, sogar dann nicht, wenn man ernstlich sogenannte telepathische Experimente untersucht.

Ein weiterer Vergleich zwischen lebenden Organismen und Maschinen führt zu folgendem Schluß. Die Untersuchungsmethoden sind heutzutage für beide Gruppen gleich. Ob sie immer gleich bleiben, hängt davon ab, ob ein oder mehrere qualitativ verschiedene Merkmale in einer Gruppe vorhanden und in der anderen nicht vorhanden sind. Solche qualitativen Unterschiede sind bisher nicht aufgetreten.

Grob gesehen sind die Verhaltensklassen bei Maschinen und lebenden Organismen gleich. Ganz bestimmte eng definierte Klassen sind jedoch ausschließlich entweder bei Maschinen oder lebenden Organismen anzutreffen. So gibt es augenblicklich keine Maschine, die ein Sanskrit-Mandarin-Wörterbuch schreiben kann. Es ist auch kein lebender Organismus bekannt, der sich auf Rädern fortbewegt. - Man stelle sich nur vor, die Ingenieure hätten auf einer Kopie lebender Organismen bestanden und demzufolge ihre Lokomotiven anstelle von Rädern mit Beinen und Füßen ausgerüstet.

Während die behavioristische Analyse von Maschinen und lebenden Organismen weitgehend gleichartig ist, zeigt eine funktionelle Betrachtung große Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Was das Strukturelle anbetrifft, so sind Organismen hauptsächlich kolloidal und enthalten im wesentlichen große, komplexe und anisotrope Eiweißmoleküle; Maschinen sind hauptsächlich metallisch

complex and anisotropic; machines are chiefly metallic and include mainly simple molecules. From the standpoint of their energetics, machines usually exhibit relatively large differences of potential, which permit rapid mobilization of energy; in organisms the energy is more uniformly distributed, it is not very mobile. Thus, in electric machines conduction is mainly electronic, whereas in organisms electric changes are usually ionic.

Scope and flexibility are achieved in machines largely by temporal multiplication of effects, frequencies of one million per second or more are readily obtained and utilized. In organisms, spatial multiplication, rather than temporal, is the rule; the temporal achievements are poor—the fastest nerve fibers can only conduct about one thousand impulses per second; spatial multiplication is on the other hand abundant and admirable in its compactness. This difference is well illustrated by the comparison of a television receiver and the eye. The television receiver may be described as a single cone retina; the images are formed by scanning—i.e. by orderly successive detection of the signal with a rate of about 20 million per second. Scanning is a process which seldom or never occurs in organisms, since it requires fast frequencies for effective performance. The eye uses a spatial, rather than a temporal multiplier. Instead of the one cone of the television receiver a human eye has about 6.5 million cones and about 115 million rods.

If an engineer were to design a robot, roughly similar in behavior to an animal organism, he would not attempt at present to make it out of proteins and other colloids. He would probably build it out of metallic parts, some dielectrics and many vacuum tubes. The movements of the robot could readily be much faster and more powerful than those of the original organism. Learning and memory, however, would be quite rudimentary. In future years, as the knowledge of colloids and proteins increases, future engineers may attempt the design of robots not only with a behavior, but also with a structure similar to that of a mammal. The ultimate model of a cat is of course another cat, whether it be born of still another cat or synthesized in a laboratory.

In classifying behavior the term "teleology" was used as synonymous with "purpose controlled by feed-back." Teleology has been interpreted in the past to imply purpose and the vague concept of a "final cause" has been often added. This concept of final causes has led to the opposition of teleology to determinism. A discussion of causality, determinism and final causes is beyond the scope of this essay. It may be pointed out, however, that purposefulness, as defined here, is quite independent of causality, initial or final. Teleology has been discredited chiefly because it was defined to imply a cause subsequent in time to a given effect. When this aspect of teleology was dismissed, however, the associated recognition of the importance of purpose was also unfortunately discarded. Since we consider purposefulness a concept necessary for the understanding of certain modes of behavior we suggest that a teleological study is useful if it avoids problems of causality and concerns itself merely with an investigation of purpose.

We have restricted the connotation of teleological behavior by applying this

und enthalten im wesentlichen einfache Moleküle. Vom energetischen Gesichtspunkt aus betrachtet weisen Maschinen gewöhnlich relativ große Potentialdifferenzen auf, wodurch ein schnelles Freisetzen von Energie ermöglicht wird; in Organismen ist, im Gegensatz dazu, die Energie gleichmäßiger verteilt. So beruht z.B. in elektrischen Maschinen die Stromleitung hauptsächlich auf Elektronen, wogegen elektrische Veränderungen in Organismen gewöhnlich auf Ionenbewegungen zurückzuführen sind.

Reichweite und Flexibilität wird im Bereich der Maschinen zum großen Teil durch zeitliche Vervielfachung von Wirkungen erreicht; Frequenzen von 1 MHz und mehr werden leicht erzeugt und benutzt. Im Bereich der Organismen ist eher die räumliche als die zeitliche Häufung die Regel. Das in zeitlicher Hinsicht Erreichte ist gering - die schnellsten Nervenfasern können nur etwa 1000 Impulse je Sekunde übertragen; auf der anderen Seite wird dagegen die räumliche Vervielfachung im Überfluß angewandt und deren Dichte ist bewundernswert. Dieser Unterschied läßt sich durch einen Vergleich eines Fernsehempfängers mit dem menschlichen Auge illustrieren. Der Fernsehempfänger kann als einzapfige Netzhaut beschrieben werden; die Bilder entstehen durch Abtastung, d.h. durch regelmäßige fortlaufende Entnahme einer Probe des Signals mit einer Folgefrequenz von etwa 20 MHz. Abtastung ist ein Prozeß, der in Organismen selten oder niemals auftritt, da zur wirksamen Durchführung hohe Frequenzen benötigt werden. Das Auge benutzt eher eine räumliche als eine zeitliche Vervielfachung. Anstelle des einen Zapfens des Fernsehempfängers hat das menschliche Auge etwa 6,5 Millionen Zäpfchen und etwa 115 Millionen Stäbchen. Hätte ein Ingenieur den Auftrag, einen Roboter zu entwerfen, der in seinem Grob-Verhalten demjenigen eines tierischen Organismus gleicht, so würde er heutzutage nicht versuchen, ihn aus Eiweißen und anderen Kolloiden aufzubauen. Er würde ihn wahrscheinlich aus metallischen Teilen, einigen Dielektriken und vielen Elektronenröhren aufbauen. Die Bewegungen des Roboters könnten ohne weiteres viel schneller und kraftvoller als die des Vergleichsorganismus sein. Lerneigenschaften und Gedächtnisfunktionen wären jedoch völlig rudimentär. In zukünftigen Jahren, wenn das Wissen über Kolloide und Proteine größer geworden ist, werden Ingenieure vielleicht versuchen, Roboter zu bauen, die nicht nur in ihrem Verhalten, sondern auch in ihrer Struktur einem Säugetier gleichen. Das beste Modell einer Katze ist natürlich eine andere Katze, ganz gleich, ob sie von einer Katze abstammt oder in einem Labor hergestellt wurde. Bei der Einteilung des Verhaltens wurde der Begriff "Teleologie" als Synonym für "durch Rückkopplung gesteuertes Zweckstreben" benutzt. In der Vergangenheit meinte man, daß Teleologie einen Zweck zum Inhalt habe und oft wurde der ungenaue Begriff des "Endzwecks" hinzugefügt. Dieser Begriff des Endzwecks hat zu einer Gegenüberstellung von Teleologie und Determinismus geführt. Eine Auseinandersetzung mit den Begriffen Kausalität, Determinismus und Endzweck überschreitet den Rahmen dieses Aufsatzes. Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß Zweckgerichtetsein, wie es hier definiert wurde, mit Kausalität nichts zu tun hat. Der Teleologie-Begriff wurde hauptsächlich dadurch abgewertet, weil man behauptete, er enthielte eine Ursache, die sich beizeiten einer angestrebten Wirkung anpasse. Als diese Auffassung von der Teleologie fallen gelassen wurde, geschah dies unglücklicherweise gleichfalls mit der damit verbundenen Beachtung der Wichtigkeit des Zweckbegriffs. Da wir das Zweckgerichtetsein als einen für das Verständnis bestimmter Verhaltensformen notwendigen Begriff ansehen, glauben wir, daß eine teleologische Betrachtung dann nützlich ist, wenn sie Kausalitätsprobleme vermeidet und sich nur auf eine Untersuchung des Zweckverhaltens beschränkt.

Wir haben die Bedeutung des Begriffs teleologisches Verhalten dadurch eingeschränkt, daß wir

designation only to purposeful reactions which are controlled by the error of the reaction—i.e., by the difference between the state of the behaving object at any time and the final state interpreted as the purpose. Teleological behavior thus becomes synonymous with behavior controlled by negative feed-back, and gains therefore in precision by a sufficiently restricted connotation.

According to this limited definition, teleology is not opposed to determinism, but to non-teleology. Both teleological and non-teleological systems are deterministic when the behavior considered belongs to the realm where determinism applies. The concept of teleology shares only one thing with the concept of causality: a time axis. But causality implies a one-way, relatively irreversible functional relationship, whereas teleology is concerned with behavior, not with functional relationships.

Harvard Medical School and Massachusetts Institute of Technology.

---

diese Bezeichnung nur auf zweckgerichtete Reaktionen anwenden, die durch den Reaktionsfehler, d. h. durch den Unterschied zwischen dem Zustand des sich verhaltenden Objekts zu einer beliebigen Zeit und dem als Zweck interpretierten Endzustand gesteuert werden. Der Begriff teleologisches Verhalten wird dadurch zu einem Synonym für den Begriff des Verhaltens, das durch negative Rückkopplung gesteuert wird, und gewinnt durch diese, genügend eingeschränkte, Bedeutung an Präzision. Mit dieser eingeschränkten Definition steht Teleologie nicht dem Determinismus, wohl aber der Nicht-Teleologie gegenüber. Sowohl teleologische als auch nicht teleologische Systeme sind deterministisch, wenn das betrachtete Verhalten zu dem Bereich gehört, in dem Determinismus anwendbar ist. Der Begriff Teleologie hat nur eines mit dem Kausalitätsbegriff gemein: die Zeitachse. Kausalität jedoch beinhaltet eine gerichtete, verhältnismäßig irreversible funktionelle Beziehung, wogegen Teleologie mit Verhalten befaßt ist, nicht jedoch mit funktionellen Beziehungen.

Für die Übersetzung verantwortlich: Dr. Rul Gunzenhäuser

